第二屆設施園藝研討會專集　32~46 (1989)

溫室降溫設施與控制

吳　中　興*
台灣大學農業機械工程學系

摘　　要

在艷陽高照的夏日，美侖美奐的溫室，默默的承受著極為沈重之熱負荷，亟待吾人進行降溫之工作，以利溫室內作物之成長。此時啟動適當遮光率遮陰設施，及其相關的自動控制系統，可防止過多的輻射能量殘留在溫室內。當降溫工作成為必要時，視溫室內部熱負荷之大小，設計時依建造經費及作物生產成本及生理特性，酌情考慮並採用自然通風系統，機械通風系統，水牆冷卻設施及霧液冷卻法，以正確地控制溫室內部之溫度、濕度、照度及二氧化碳含量。本文一一簡介這些方法及其設計與規劃工作，並說明相關系統之通風口設計，正確風扇的選用，通風系統之日常保養及維護，以期能為溫室內作物創造一合適的生長環境。

一、前　　言

本省位處亞熱帶，夏日氣候炎熱潮濕，而且又是颱風季節，溫室所面臨的難題，與歐美日本等溫帶或寒帶地區相比較，有些許不同。因此國外的溫室系統及其內部設施，有部份不適合本省使用，尚有待國人自行研究開發。目前現有的溫室設施運作，以及與日後計劃興建之溫室有關的設計工作，所面臨的困難之一，便是如何以較廉價的系統，最簡易的日常保養與維修，以及較為低廉的運轉費用，來排除夏季溫室內多餘的熱負荷。

溫室使用遮陰設施，通風系統以及各種冷卻方法，在國外均已廣泛使用，且行之多年，但在國內尚在起步階段，有待國人進行本土化研究工作，以加速完成農業現代化及精緻化之腳步。

(一)溫室之自動化遮光設施

近年來，為配合農業現代化之政策，國內各種由簡易至複雜之溫室均已興建。在艷陽高照的夏天，溫室內之溫度遠高於作物之生長標準，而且對於某些陰性植物而言，太陽輻射能量若超過其所能忍受的標準，將發生枯萎或葉燒的現象。

為了有效抑制溫室內氣溫及降低艷陽下之照度，並減少除熱時之熱負荷，須加裝遮光設施。常見的溫室遮光方式有下列四種：

* 國立台灣大學農業機械工程學系教授

a.夏天將遮光劑噴在溫室玻璃外面，到冬天來臨時，用清潔劑將遮光劑洗掉。這種方法適合於天氣陰晴穩定地區，在美國常被採用。

b.在溫室屋頂加裝木板或鋁條，以達遮光的效果。通常這種裝置每隔一段時間遮住太陽直射光，另一段時間再讓太陽直射光透過，其遮光效果成週期性。

c.在溫室裡或溫室上方裝設遮光網，常用的遮光網之遮光率有40%、50%、60%、70%、80%及90%六種，以達不同之遮光效果。

d.溫室頂端採用透光率小於1.0之建材，如玻璃、玻璃纖維、PVC或PE等被覆材料。

衡諸國內之氣候環境，以上四種方法，以裝設遮光網最為可行，然而遮光網之裝設，亦面臨機械化及自動化之問題亟待解決，以節省人工，並落實溫室興建之預期功能。

1.遮光設施機械化之設計

遮光設施設計時，須考慮並計算骨架及各元件所採用材料之強度，及所須之驅動馬力。例如由當地之風力大小及遮光機構驅動時之摩擦阻力，來決定馬達之馬力小大，傳動軸選用時，須注意其強度及剛性等問題。

本遮光設施裝置在台大園藝系花卉研究室前之溫室上方，其遮光機構總組合如圖 1、2 及 3 所示，頂部結構由 8 枝槽型輕鋼架構成，並由20根不銹鋼管支撐遮光網之重量。

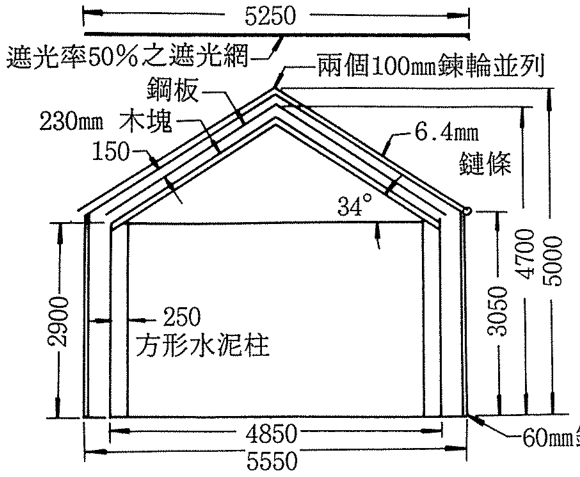

圖 1　遮光機構前視圖

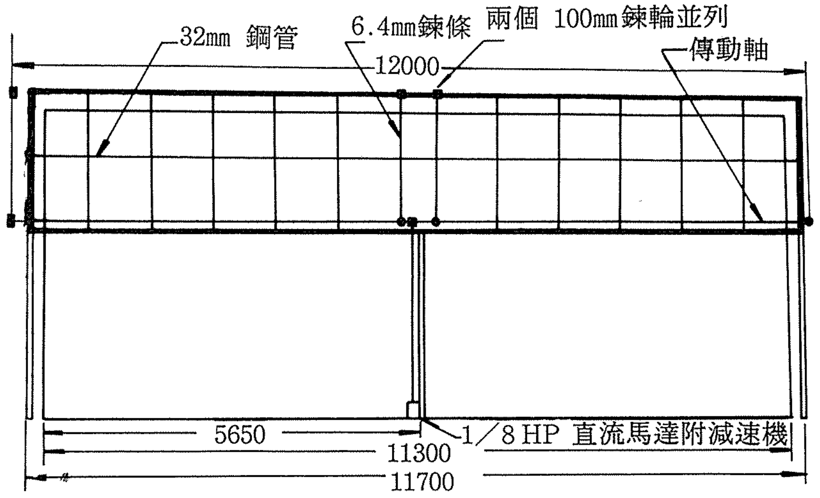

圖 2　遮光機構側視圖

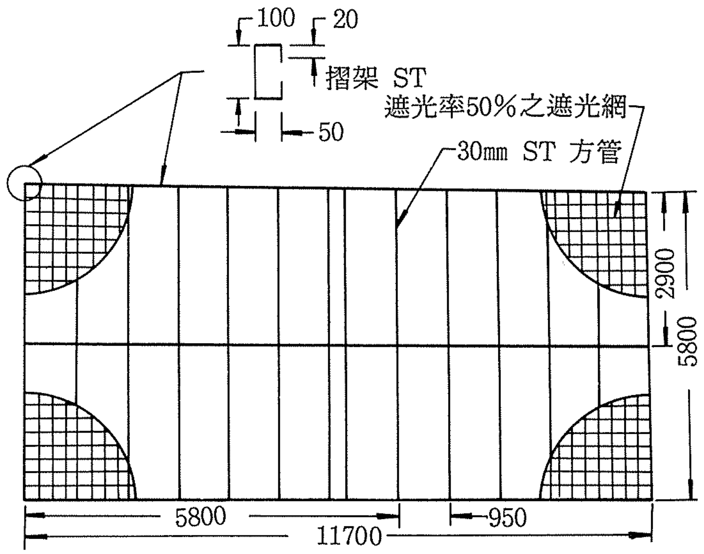

圖 3　遮光機構上視圖

遮光機構主要元件及其驅動流程如圖 4 所示。選用一個1／8馬力直流馬達為動力源，帶動減速比為1：1255之渦輪減速機，再帶動傳動軸。傳動軸與渦輪減速機之間以鏈條連結器鏈接。藉著傳動軸之動力帶動傳動軸兩邊之鏈輪轉動。由於本機構係加裝在一山型溫室上方，為使遮光網運動方便起見，將遮光網沿著溫室屋脊分為左右兩半，而將傳動機構放置在溫室頂端之屋脊部分，以利左右兩邊之動力傳動。溫室屋頂對應傳動裝置的另外兩個邊端，亦安裝兩組鏈輪，每組鏈輪上套裝適用的鏈條，以做為傳動之用，帶動遮光網的鋼管則固定於鏈條的一個鏈節上，當馬達啟動時，經由傳動軸兩端的鏈輪帶動鏈條，使鋼管做同步移動。遮光網活動端固著在鋼管上，隨鋼管之移動而移動，另一端則固著於溫室屋脊上。當鋼管沿著屋頂斜坡上下緩慢移動時，同時帶動遮光網，完成開、閉的動作。

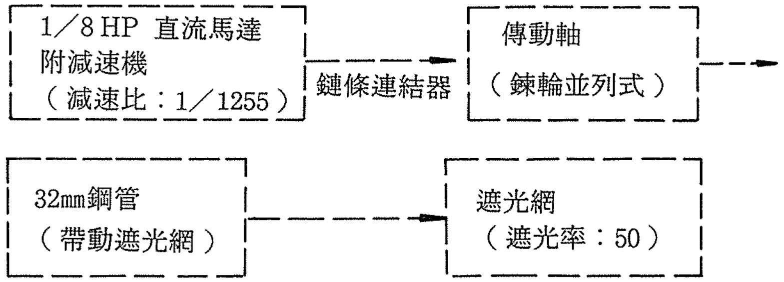

圖 4　遮光機構驅動流程圖

2.遮光機構驅動原理

遮光機構之驅動是藉著控制箱、極限開關及控制線路完成的。控制箱面板如圖 5，電路圖如圖 6 所示。當按下控制箱開關的按鍵時，促使正轉電磁開關（MC1）激磁，則正轉電磁開關接點接通，並保持通電狀態，同時使馬達正轉啟動線圈及運轉線圈接通，作正向

轉動，使遮光網水平向右移動，開啟遮光網。當鋼管碰到極限開關（LS1）時，則電源切斷，馬達停止運轉並被煞住。當按下控制箱的關的按鍵時，促使反轉電磁開關（MC2）激磁，則反轉線圈接通作逆向轉動，使遮光網水平向左移動，關閉遮光網。當鋼管碰到極限開關（LS2）時，則電源被切斷，馬達停止運轉並被煞住。當遮光網在作向右或向左水平移動途中，只要按下電鈕，則電源被切斷，馬達停止運轉並被煞住在所需要的位置，溫室一部份遮光，其餘部份不遮光，以適應同一溫室不同品種植物之栽培。線路中另裝置保險絲及過電流電驛，防止馬達超載。當極限開關（LS1或LS2）發生故障時，按下控制箱開關按鈕，可使全部動作停止，以策安全。

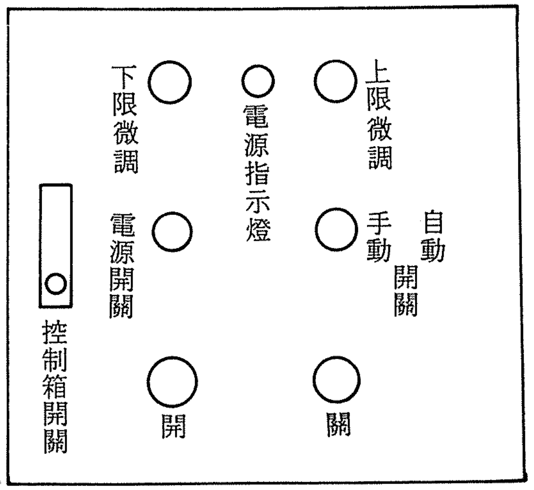

圖 5　控制箱面板圖

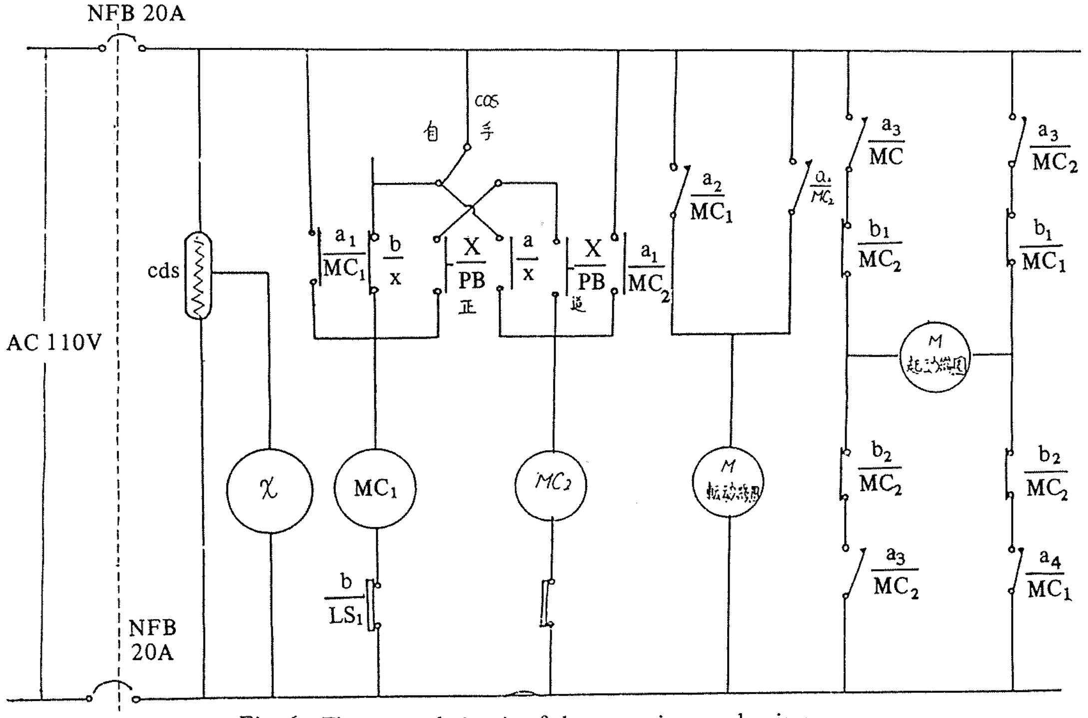

Fig. 6. The control circuit of the screening mechanism.

圖 6　遮光機構自動控制線路圖

3.遮光機構之自動化

不同的植物，均有其生長時最適當的照度，以利光合作用之進行。本省的氣候陰晴變化甚大，遮光機構為順應太陽輻射能量之變化，以獲得溫室內之最佳照度，在尚未自動化之前，遮光網之開閉必須用心的監控，如此將增加作業人員之工作負荷及心理壓力，因此遮光設施之自動化，有其必要性。

由於遮光機構的動作條件是取決於陽光輻射能量之大小，所以光度成為控制遮光網運動的重要變因。當照度過大時，遮光機構使得溫室是處於拒絕部份光照的狀態，以避免過強的陽光傷害作物，當陽光趨弱時，又能恢復接受全額的光照。因此遮光機構的自動化，使得機構能自動隨著陽光強弱，自動開啟或關閉，使得操作手續變得非常簡單。

在控制電路中，（如圖 6 所示），加上光敏電阻（CDS）用來感應陽光的照度，並將光度的大小，轉換成電流強弱而傳導到整個控制線路，以為因應措施，其作用情形分別描述如下：

1.遮光網展開時之控制電路：

正轉：

a.當開關（NFB）作用時，所有支線除了b／x為接通外，其餘皆短路，因此只有馬達線圈（MC1）接通電流。

b.當馬達線圈（MC1）接通後，其控制之各個不同作用的開關立即開始動作，其情形分別描述如下：

(a)a1／MC1：此為電源自持之用，使得馬達線圈（MC1）除非不作用，否則永遠導通，由線路圖知只有極限開關（LS1）才能關掉它。

(b)a2／MC2：用來控制轉動線圈開始通電轉動。

(c)a3／MC1與a4／MC1：係用來控制啟動馬達轉向，可使馬達的啟動線圈作用，而令馬達正轉。

(d)b1／MC1與b2／MC2：短路使得此區為斷路狀態，即使馬達線圈有作用，亦無法影響馬達工作，因此可避免在中途因陽光太烈，使得光敏電阻作用，開關導通，而發生轉動一半的情形。在b／x，a／x之運作功能如下所述：

(I)即使b／x被切掉，馬達線圈（MC1）因有a／MC1自持電路，故工作仍無影響。

(II)a／x接通，馬達線圈（MC1）作用，但是線路部份已有b1／MC1與b2／MC2保護，故反轉電流仍然不通。此時只會因b1／MC1及b2／MC2之作用將正轉啟動線圈切掉，但已不影響馬達工作。

由以上之作用過程，馬達一直保持正轉，直到碰到極限開關（LS1），將馬達線圈（MC1）切斷，一切開關皆恢復原狀為止。

c.但此時若(d)中光敏電阻有作用時，則馬達繼續回轉（因馬達線圈MC2在作用）直到碰到極限開關（LS2）為止。

d.若開關 x 又不作用，則回到 a。

2.遮光網關閉時之控制電路：

(a)當光敏電阻因光照充足，而使開關 x 接通時，開關b／x切斷，致使馬達線圈（MC1）短路，而開關a／x接通，使馬達線圈（MC2）接通，在接通之後，則由該線路控制的開關立即開始動作：

＊a1／MC2：為自持電路，使得達線圈（MC2）縱使原接通之開關短路，亦能繼續動作，直到極限開關（LS2）短路為止。

＊a2／MC2：控制轉動線圈，使馬達可運轉。

＊a3／MC2與a4／MC2：啟動線圈，使馬達逆轉。

＊b1／MC1與b2／MC2短路，使得正轉電路斷電，以防止正轉情形發生，即使馬達線圈（MC1）作用，亦無法影響馬達工作。

此即避免當馬達在運轉之途中，因陰天而使得光敏電阻失去作用，開關 x 短路。

• 開關b／x又導通，馬達線圈（MC1）作用，但是開關b1／MC2、b2／MC2皆作用，將正轉電路切斷，故不影響馬達工作。

• 開關a／x又發生短路，馬達線圈（MC2）有自持電路，故工作繼續。

因此馬達一直保持逆轉，直到碰到極限開關（LS2），將馬達線圈（MC2）斷電，一切開關恢復原狀為止。

(二)通風冷卻法

溫室通風的方法有兩種，一為自然對流方式，另一為強制通風方式。自然對流係利用空氣的溫差或壓力差，使空氣流通。強制通風則係利用風扇產生一壓力差，迫使空氣流動。

設計正確的通風系統，可使溫室內部維持適當的溫度、濕度及適合作物生長之二氧化碳含量。通風設施可導入外界的冷空氣，並排除溫室內日光輻射而產生之熱空氣。植物葉面散發水份，水份在溫室內蒸發，亦提昇了溫室之降溫效果。因此在一個種植了許多作物之溫室內，降溫所需之熱負荷，將遠低於一個空曠的溫室。

茲將兩種通風冷卻方式，分述如下：

1.自然通風法

當溫室內外之溫度或壓力有相當的差異時，空氣密度亦產生差異，而形成自然對流之現象。因此在氣候嚴寒的冬天，在海邊，在島嶼上或是在季節風盛行的田野裡，採用自然對流法之溫室，亦可獲得良好的降溫效果。但是在酷熱的夏季，當溫室內之溫差有限時，自然對流所能帶走之熱量，便極為有限。

有效的自然通風設施，包含位於屋脊上的一個長條形通風口，以及平行溫室屋脊兩側的通風口，如圖 7 所示。當溫室內高溫且潮濕的熱空氣自然浮起，經由屋脊上方之通風口逸

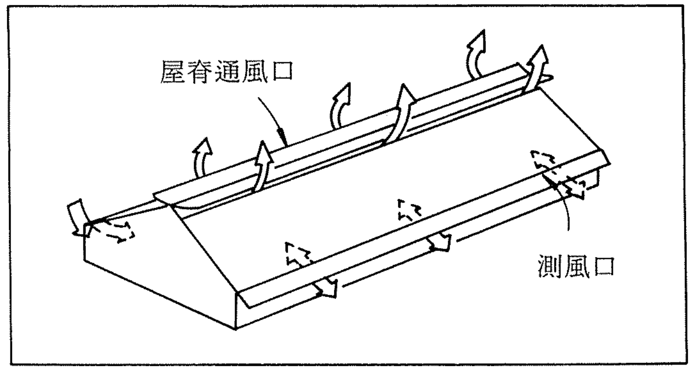

圖 7　溫室自然通風設施

出時，外界乾燥的冷空氣亦經由兩側通風口，或屋脊上之通風口引入溫室內。最有效的自然通風系統，其兩側通風口面積，為溫室面積之百分之二十五。若是只單獨使用屋脊通風口，或是側風口時，通風效果將較不理想。

自然對流法不需裝置任何降溫設施，並且只有在裝設自控裝置時，才有電能之消耗。

2.機械通風法

在炎熱的夏天，圖 8 所示之強制通風系統是密閉溫室不可或缺的基本配備。適當的輔助降溫設施，可明顯的提昇能源效率，降低耗電量。一般說來，精密控制的玻璃溫室或是雙層覆罩之溫室，因溫室內外之自然質量交換速率甚為緩慢，而且裝設屋脊通風口之困難度增加，為了有效地控制溫室內之溫度、濕度及二氧化碳濃度，機械通風系統之採行成為唯一的選擇。

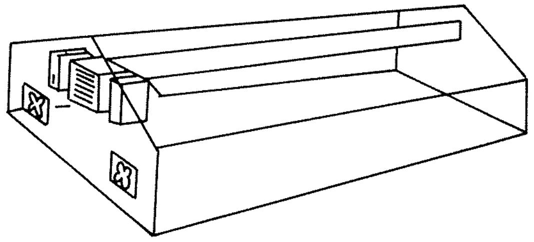

圖 8　溫室機械通風設施

機械通風系統之主要元件包括風扇及馬達制動之通風口，茲分述如下：

(1)風扇之選用

風扇廣泛地使用在各種不同的空調系統或加熱系統上，一般可分為軸流式與離心式兩種。軸流式風扇具有兩片或多片葉片，其排列則呈螺旋槳狀。葉片之剖面如機翼狀，當空氣流經葉片時，可使紊流之程度減為最低，而減少噪音及能量之消耗。在空氣排出端，若再加上導流葉片，可使氣流進一步流線化，促使空氣之轉動動能，轉換成移動動能。

軸流式風扇適用於空氣流動阻力較小之空間，比必須空調之辦公大樓及作物生長之溫室等，通常能在較低的靜壓下導入大量的冷空氣，而且造價較低，為溫室通風所需風扇之上上之選。大部份的螺旋槳風扇，係設計在2.5毫米水柱的靜壓下送風。驅動風扇所需的功率，約略地等於溫室內外空氣熱焓量之差，乘上單位時間之通風量。

圖 9 為一簡單的螺旋槳風扇。空氣在扇葉的周邊可以順暢地流過，但在旋轉軸附近的輪轂部位，其周圍有迴流區產生。空氣在迴流區內產生渦流，並消耗能量，因此這種扇葉的設計方式並不太理想，應加以改善，如圖10所示。圖10的風扇可消除因較高的靜壓所產生的迴流現象，這種風扇輪轂較粗大，造價稍高。

離心式風扇之葉片則為扁平狀，其相對於轉子之迴旋方向，葉片有前向式，後向式及軸向式等分別。離心式風扇須在高壓下，將外界空氣導入溫室內。

風扇的性能，通常由製造廠商來測試，測試結果製成表或繪成特性曲線。通常圖表內所包含的測試項目有揚程，空氣流量，功率，風扇效率及轉速等。使用者經仔細研究各種機型之性能圖表之後，再選擇最適合之機型來購用。

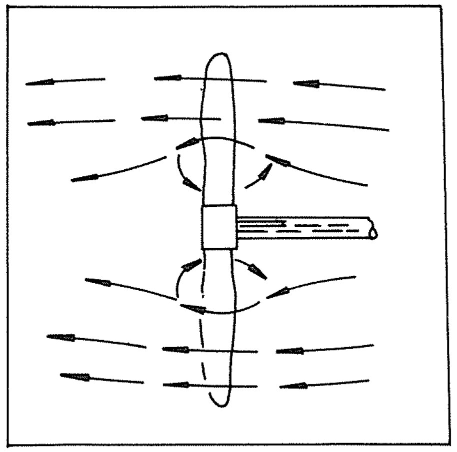

圖 9　螺旋槳風扇周邊流場

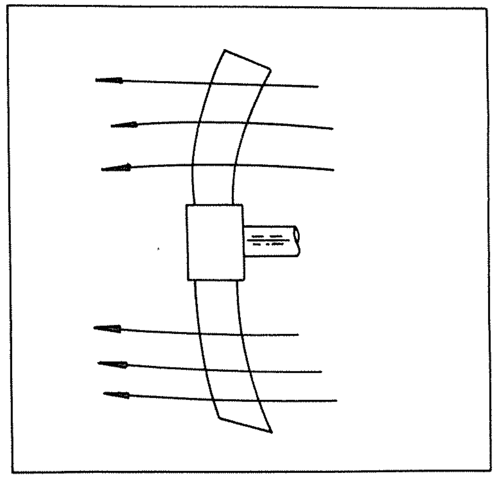

圖10　管形扇葉周邊流場

軸流式風扇在一定的轉速下，其具戈表性之特性曲線如圖11所示。當流動阻力改變時，空氣流量隨之變化，阻力增加時，流量隨之減少，但在一個相當大的作業範圍內，無論阻力增加或降低，風扇之馬力輸出變化有限，因此馬達無過負荷之虞，此爲軸流式風扇之共有特性。在不同的作業條件下，藉由改變扇葉之節徑及寬度，可獲得相對之最大效率。

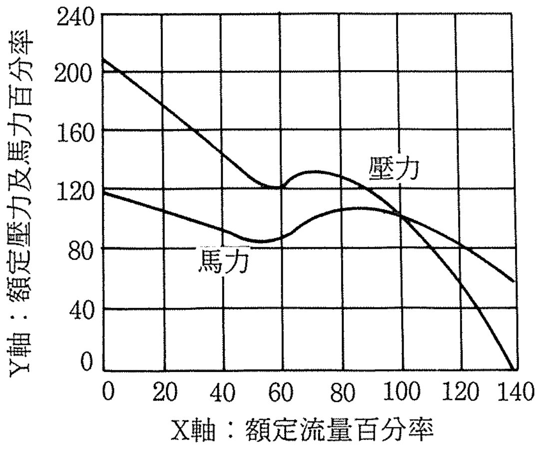

圖 11　軸流式風扇特性曲線圖

具有扁平扇葉之離心式風扇，其具代表性之特性曲線如圖12所示。當空氣流量增加或壓力減小時，風扇之輸出馬力增加。因馬力曲線之斜率變化不算小，故作業時，要避免過負荷之現象發生。

選擇一個風扇或一組風扇，使能在2.5毫米水柱靜壓之情況下，輸送溫室所需的換氣量。基本上對於直徑較小的風扇而言，每分鐘每馬力可輸送420立方公尺的空氣；對1.2公尺外徑的風扇而言，每分鐘每馬力可輸送560立方公尺的空氣。入口處空氣的流速每分鐘

需達250公尺。外徑越大的風扇，能源效率越高，但售價也越高，將使生產成本增加，而且在入口處空氣之流速亦高過適當的風速。當流經作物間之風速每分鐘超過60公尺，將對作物生長產生負面的影響，但外徑不夠大的風扇，則不足以勝任降溫之重責大任。

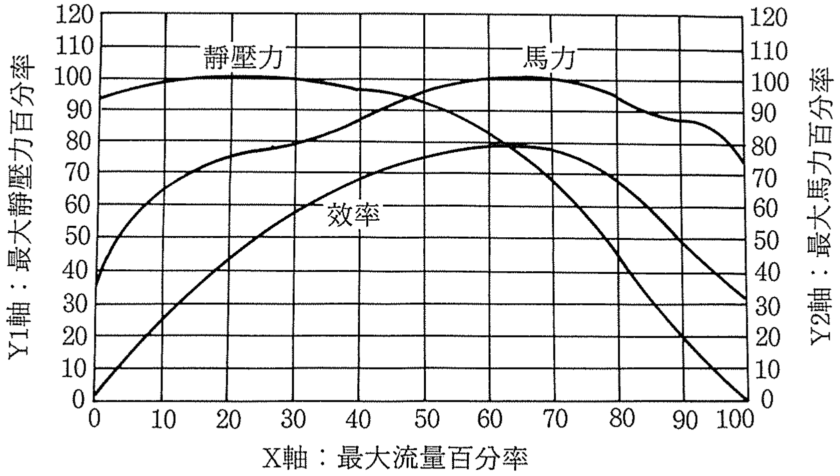

圖12　後向式離心式風扇性能曲線

(2)機械化制動之通風口設計

在溫室空氣入口處附近之流場，容易產生迴流區。夏天高熱的空氣在迴流區打轉，增加了在該處之滯流時間，並蓄積了更多的輻射熱，容易形成高溫，而危害作物之生存。在冬天，由外界導入之冷空氣，必須立即與即將離開溫室之熱空氣，及溫室內之溫暖空氣充份混合，以免凍傷了通風口附近的作物。正確設計的通風口，可以達成這個要求。如圖13所示，經由調整通風口的大小，配合風扇的送風量，以獲得正確的空氣入口速度。以每分鐘大約250公尺的速度，進入溫室的低溫紊亂氣流，足以與溫室內之熱空氣充份混合，

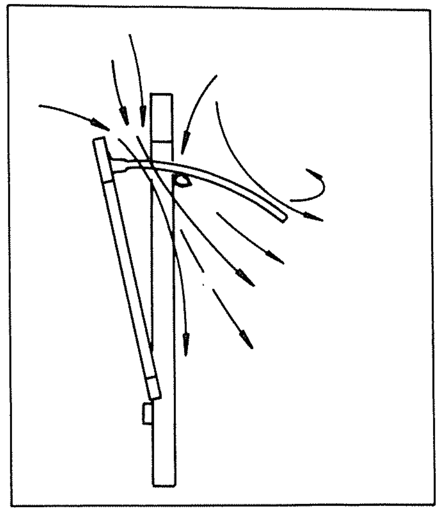

圖13　溫室空氣入口

正如同在溫室內備有一螺旋攪拌器一般，可獲得一新的氣流溫度，並且使溫室內各點的溫度差異達到最小的程度，這猶如由一高壓噴嘴送出高速的冷水，進入一盛滿熱水的大水桶內，大水桶備有攪拌裝置，很快的可獲得一新的平衡溫度。這開口若是太大，諸如溫室的大門，或是捲揚器控制的側門，以致於開口面積無法與之契合，進口的低速冷空氣就像瀑布一樣灑在地面，與溫室內之空氣無法激烈混合，導致於溫室內之溫度，濕度及二氧化碳濃度產生失控現象，雖然風扇仍在正常地運轉，但是入口處之作物很容易發生凍傷現象，空氣由入口至出口，幾乎沒有發揮對流的功效。

這開口若是太狹窄，則在相同送風量之下，產生較高的靜壓，將使通風效率降低。將一個風扇或是一組風扇的總送風量（單位為每分鐘立方公尺）除以 250，便是在靜壓為 2 毫米水柱時之適當的風口開口面積（單位為平方公尺）。

風扇通常架設在溫室的一端，空氣的入口則開在另一端。對一座南北向之溫室而言，風扇應架設在北牆上，其相對應之空氣入口，則可開在南端。但若是夏季季風由北方吹來，則需將風扇架設在南方，以提高其機械效率。適當的風扇數目為每分鐘可將溫室內之空氣交換一次，則在炎熱的夏天，可以降溫達攝氏六度。當換氣量高過此標準時，降溫效果並不顯著，但耗電量則呈顯著增加。溫室長度要小於六十公尺，但是若加上其它降溫設施時，溫室長度可以增加到八十公尺。

㈢溫室通風設施之控制

在夏天，為了準確控制溫室內的溫度及濕度，溫室內外需要裝置一組恆溫計，乾球溫度感測器，濕球溫度感測器，光度感測器及相對濕度感測器等，感測器之種類及多寡視作物種類。溫室週邊設施及控制之精確程度而定。

對一座須降溫的塑膠溫室而言，可在溫室中央放置一個以三合板製成之控制箱，如圖14所示，箱子一端裝有一個抽氣用小風扇，箱子裡面有一組恆溫器。控制箱可以避免恆溫器直接被太陽曝曬，而使溫度之感測發生誤差。當小風扇不作用時，在溫室內某一定點之溫度變化如圖15所示；小風扇開始啟用之後，該測點之溫度變化量立即由攝紙四度變為攝氏一度，如圖16所示，因此整座溫室之溫度控制，便極為理想。

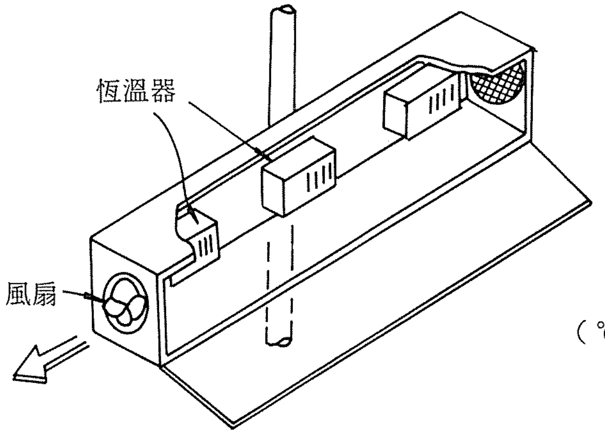

圖14　溫室內簡易控制箱

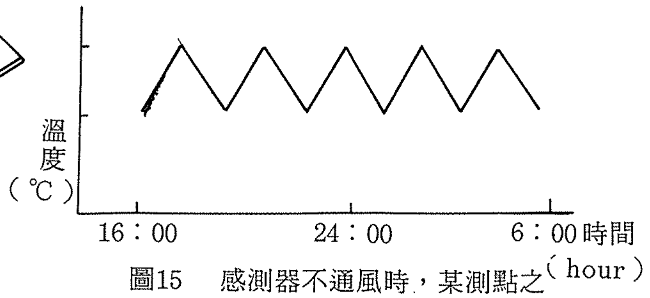

圖15　感測器不通風時，某測點之溫度變化情形

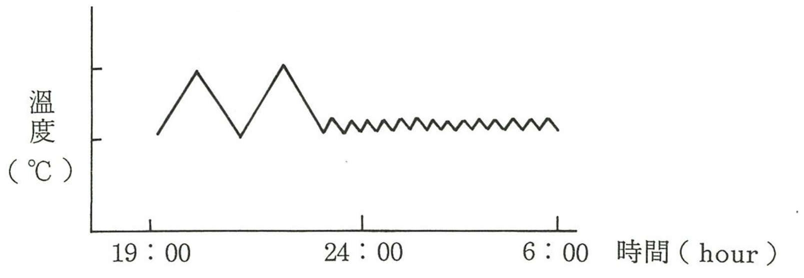

圖16　感測器通風時，某測點之溫度變化情形

茲舉實例說明，若是風扇的送風量為每分鐘250立方公尺，則所需的開口面積為 1 平方公尺。換言之，這風口的面積可以是 1 公尺乘 1 公尺。對一個 8 公尺寬的溫室而言，這個風口若是沿著溫室的一端開設，那麼這個開口的寬度將是12.5公分。當氣溫上昇，熱負荷加大時，每分鐘250立方公尺之換氣量是不夠的，須要擴增以適當的控制溫度。假如第二級之送風量擴增為每分鐘500立方公尺，則通風口之寬度必須增加為25公分，那麼送風之靜壓方可維持在 2 毫米水柱高。

在美國新澤西州南部，有一成功的萵苣水耕經營者，在他的塑膠溫室裡，裝有 5 個風扇及霧液降溫設施，經由微電腦做四段式之溫度控制。平時通風只使用一個風扇，通風口開啟7.6公分；氣溫上昇時，使用三個風扇，通風口開啟46公分，或是使用五個風扇，通風口開啟66公分。在夏天，當這三段仍然不足夠完成降溫之使命時，霧液降溫系統啟動，溫度立即降低至適合萵苣生長之水準。

㈣水牆降溫法

在那些只是使用強制通風不足以冷卻溫室至滿意程度之地區，加裝水牆便能經濟有效地冷卻溫室內之溫度，並增加溫室內之相對濕度如圖17所示。

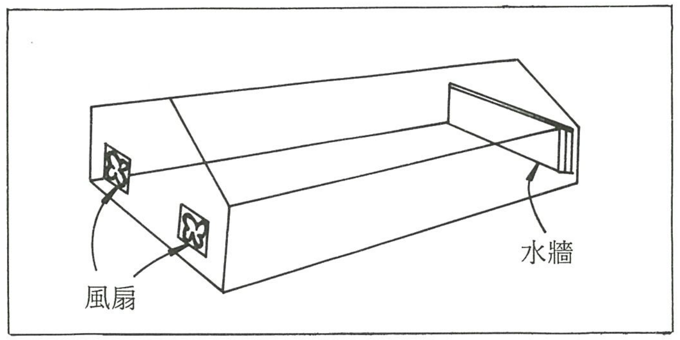

圖17　溫度內水牆降溫設施

水牆可以水平或是垂直地安裝在溫室的一端。一根打孔的水管，將水均勻的撒播在垂直裝置之水牆上方。水牆下方之排水管，收集流下的水，循環使用。

圖18為一商業化之多孔性水牆。水牆所使用之材料為經處理過能耐水蝕，重量輕而且耐久性佳的皺折狀厚紙，白楊樹的木質纖維，外覆橡皮之豬毛，醋酸纖維素，或是尼龍纖維等。木質纖維製成之水牆，纖維容易集結而形成孔隙，使空氣通過，而單股尼龍細線編織成之蜘蛛網狀水牆，較不易發生纖維裂解之現象。

理想的多孔性水牆，具有最佳之空氣通路面積與障礙面積比（約四十比一），可容許最大的空氣流量，流經最大的飽和加濕纖維表面。被氣流帶走之最適當水量，為在不降低空氣流動效果情況下之最大水量。流經水牆的空氣壓力降愈低，電能消耗愈小，相對地所需之風扇馬力亦愈小。

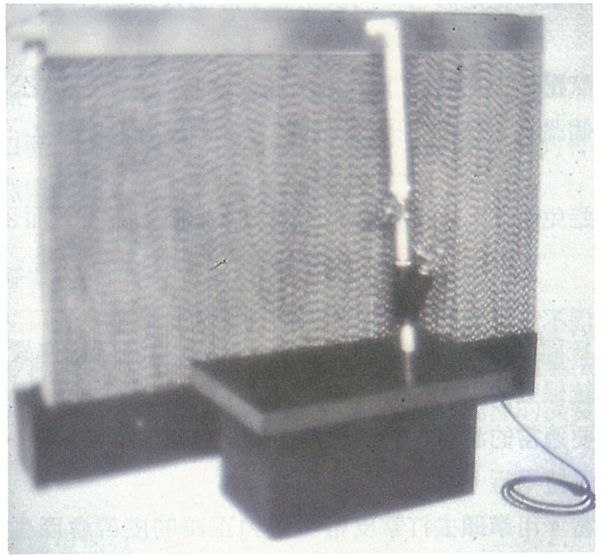

圖18　多孔性水牆

㈤霧液冷卻法

高壓噴嘴噴出粒徑極為細微之水珠，使得單位體積的水，經噴灑之後，能獲得最大的表面積，而能吸收最大的潛熱，使細微的水珠均能在空中順利地蒸發成水氣，以避免滴落在作物上。水滴夾雜之礦物質，將使植物產生脫色或疾病之現象。霧液冷卻結合作物本身之蒸散作用，能達成良好之溫室降溫效果（如圖19所示），其換氣率僅須一般溫室之三分之二。

圖19　霧液冷卻法之噴嘴及管路

霧液冷卻法，依釋放出水珠之粒徑大小，其系統又可分類為如下兩種：

1.噴水系統

系統之噴水壓力為10至14大氣壓力之間，可噴出細微的水珠，細微的程度，是在水珠滴落地面之前，便能蒸發完畢。但水珠落地之前，極有可能落在作物葉面上，將影響葉菜類收穫時之品質。

噴頭的間隙及水壓的穩定與否，將決定溫室降溫效果是否均一。

2.霧化系統

本系統在35大氣壓以上之壓力下噴出水珠，水珠粒徑可達10公尺。如此微細之水珠立即霧化，而籠罩整個溫室，使溫室內之降溫效果及濕度極為均一，不會發生有水珠滴在作物上之現象。

高壓的噴嘴要避免堵塞，因此水必須先經濾水器濾去雜質，而且管路之材質必須能承受高壓。

(六)通風系統之保養須知

一座好的溫室系統建立不易，為了維持產品的品質及降低維修費用，溫室作業人員須明白以下所述的通風系統保養要點：

1.風扇及馬達之軸承要適當的潤滑，甚至更換，以避免產生過熱現象。

2.皮帶輪的傳動軸要保持平行。

3.皮帶之鬆緊度要適當。用拳頭去打擊皮帶，張力正確的皮帶會產生震盪，並且彈力充沛；張力不足，則反之。鬆懈的皮帶將產生過度的磨耗，打滑及傳動效率降低之現象，並且容易使皮帶破裂。皮帶過緊將使軸承磨損，降低其使用期限。

4.在修護或調整時，要注意接線是否正確，以免造成風扇反向運轉。風扇反向運轉時，仍然可以移動部份空氣，因而一時之間不易察覺。

5.礦物油脂及炙熱的陽光容易損傷皮帶。油脂及其它不易擦拭之異物，可先用肥皂水清洗，再以清水洗淨殘留之肥皂。

6.溫室外之雜草及樹叢，若是阻礙風扇空氣之流通，必須清除。

參考文獻

1.王鼎盛　1988　設施園藝設計手册　農委會及台大農工系編印。

2.吳中興　1989　設施內機械裝置及自動化　設施園藝技術 P.105—117豐年社。

3. 邱活泉、吳中興　1988　溫室機械遮光設施之研製　農工學報34卷 2 期。

4. Daugherty, D. L. and J. B. Franxini. 1977. Fluid mechanics with engineering applications, 7th edition, Mc Graw-Hill Book Company.

5. Karlekar, B. V. and R. M. Desmond. 1977. Engineering heat transfer. Rochester Institute of Technology.

6. Nelson, P. V. 1985. Greenhouse operation and management, 3rd edition, North Carolina State University.

7. Roberts, W. J., J. W. Bartok, E. E. Fabian and J. Simpkins. 1985. Energy conservation for commercial greenhouses, NRAES-3.

8. Wark, K. 1989. Thermodynamics. Mc Graw-Hill Book Company.

討　論

王鼎盛（台大農工系）問：

自然通風入（出）口面積為溫室水平面面積之25%它與風速與風向有關嗎？機械式強迫通風以您的見解適合於本省溫室的方式應為吸氣式或排氣式？

吳中興（台大農機系）答：

在本省，自然通風法只是一種輔助降溫方法，在澎湖地區，可能不錯，而本省地區使用，效果不彰在夏季農民將所紗網全部捲起，也是一種自然通風法。水牆通風法降溫以吸入式最好，但有一缺點無論夏天或冬天，空氣一定要從水牆通過，因而形成能源的浪費。

賴森雄（亞蔬中心）問：

亞蔬中心以水牆式降溫但無效。

吳中興（台大）答：

貴單位溫室內之水牆無法達成降溫功能，可能是機械通風系統設計不良所導致，應該不是水牆發生問題。水牆式降溫與濕度有關，台大精密溫室以水牆方式可降至溫攝氏 4 至 6 度，而國外農民以水牆式降置，可以使用13年，感到很滿意。

李哖（台大園藝系）補充：

水牆距離設計不善時，降溫效果不好。

鄔錫正（桃園縣政府）問：

植物最適宜的成長溫度為何？作物對溫度的忍耐與濕度，空氣流速的互動關係？

吳中興（台大農機系）答：

不同植物最適宜的成長溫度及溫度之範圍，需實驗才知道。流經作物同之風速，每分鐘不得超過60公尺。

王鼎盛（台大農工系）補充：

人感覺包括溫度、濕度、風速、輻射四種之綜合而植物以溫度、濕度為標準。

COOLING FACILITIES AND CONTROL IN GREENHOUSES

Chung-Hsing Wu

Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering,
National Taiwan University.

ABSTRACT

Taiwan located in the semitropical area. In the summer, the thermal load inside the greenhouses is so heavy that the cooling facilities are required to maintain the right temperature in which the plant will grow well.

In the shiny days, the screens should be spread over the roof of the greenhouse automatically to interrupt about half of the solar radiation entering into the growing area. Some of the auxiliary cooling equipments such as natural ventilation system, mechanical ventilation system, fan and pad system, misting system, or fog system also should be built in according to the consideration of the budget and the requirement of the grown plants to accurately control the temperature, relative humidity, and the concentration of the carbon dioxide inside the protected area. The size of the air inlet, the selection of the fan, and the maintenance of the mechanical assemblies are also important to ensure a reliable optimum growing environment.

設施內輻射環境的控制與管理

申 雍*
國立中興大學土壤學系

摘 要

入射於地表的日光，可分為三個波段，紫外光區（<400 nm）、可見光區（400—700 nm）和近紅外光區（700—3000 nm）；各波段所佔的能量分別為3%、44%和53%。其中僅有可見光區的能量可以被作物光合作用所利用，其餘兩個波段的光能對光合作用毫無用處，但卻可以轉變成熱能，使得設施內的溫度升高。因此，如何儘量減少進入設施內近紅外光的量，但依作物需求，調節可見光進入的量，就成為控制與管理設施內輻射環境的首要目標。設施內的熱能，會不斷的以長波（>3000 nm）的型式向外輻散，所以如何使長波輻射順利釋出，乃成為控制與管理的第二目標。

為達成前述二目標，必須從研究設施所用被覆材料的光學性質著手。本省目前所用的材質，如玻璃、PE 布、PVC 布，FRP 板等的光學性質均不合理想。初步研究顯示，利用具雙鍵或參鍵的 C、H、O、N 等簡單分子的有機或無機的氣體與液體，以吸收或反射的方式，可以選擇性地減少進入設施內近紅外光區的能量。有關材料的開發與實際應用的技術，仍有待更進一步的探討。

一、前 言

夏季日射強烈時，設施內的氣溫常高至為害作物生長的程度[3,4]，這是設施栽培在本省尚未能被普遍採用的主要原因之一。設施內的高溫，導因於過量的日射進入設施內，轉變成熱能，又無法有效的將熱能排出設施外。目前所用通風和冷卻的方法[2]，在把已進入設施內的熱量除去，設備的投資很大。若是能將過多的日射阻擋於設施外，則設施內的溫度將不致於上升的太高，即使仍須要降溫，所須的設備投資也將減少，這對於種植非高經濟價值作物的農民，將有很大的幫助。目前習用遮光網將過多的日射阻擋於設施外，但無良好效果的原因在於，若阻止過度溫度上升，往往伴隨阻止可見光的穿透，影響了作物的生長。故在控制與管理設施內的輻射熱環境時，並非單純的使用遮光網而已。

設施內的輻射環境可分強度、分佈與光品質（透光光譜）三大部分。設施內的日射強度較外界環境為低，其原因包括有(一)樑柱的遮光、(二)被覆材料的反射與吸收、(三)被覆材料上灰塵、水滴的吸收和反射，而且入射強度隨太陽高度、溫室方位和構造而變化[2]。由於台灣處於低緯度地區，設施內床面的平均透光率隨溫室方位、屋頂傾斜角的變化不大[1]，而設施內的光品質，決定於

* 國立中興大學土壤學系副教授